

水电开发对河流生态系统服务功能影响的价值评估方法与案例研究^{*}

莫创荣^{1,2}, 李霞¹, 陈新庚¹, 王树功¹

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广东 广州 510275;

2. 广西大学化学化工学院, 广西 南宁 530004)

摘要: 水电开发对河流生态系统服务功能的影响是复杂的、多方面的, 提出计算“流量”, 即计算受水电开发影响的河流生态系统服务功能的价值变化量的评估思路和方法, 并以广东省紫金县某水利枢纽工程为案例, 对项目实施后河流生态系统服务功能价值的变化进行了定量分析评价。

关键词: 水电开发; 生态系统服务功能; 价值评估; 河流

中图分类号: X196 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2005) S2-0250-04

1970年代以来, 自生态系统服务功能的概念提出以后, 国际生态学界和生态经济学界逐渐开始了对生态系统服务及其价值评估的研究^[1]。总的来说, 国内外生态系统服务功能及其价值评估主要集中在湿地、森林、草地等自然生态系统服务功能的研究上, 对河流生态系统服务功能的研究较少, 关注于水电开发工程对河流生态系统服务功能及其价值影响的研究则更少^[2,3]。本文试图就水电开发对河流生态系统服务功能影响的评价方法进行探讨, 提出河流生态系统的几种主要的生态服务功能价值评估的方法。

1 水电开发对河流生态系统服务功能影响的价值评估

1.1 评估的思路

Costanza 负责的研究小组在大量文献调研的基础上, 对全球 16 种生态系统类型所提供的 17 种不同类型的服务功能进行价值核算并求和, 根据各类生态系统服务功能单价和面积计算出了全球生态服务功能总价值, 并于 1997 年 5 月《Nature》上发表了这一成果^[4]。自此, 各国许多相关研究都采用了这套评估方法, 并不断加以改善。这种方法是一种“存量”的估算方法, 即估算整个生态系统, 如整个湿地、整个森林系统或全球生态系统提供的总价值量。

水电开发对河流生态系统服务功能的影响是复杂的、多方面的, 对其生态服务功能价值影响的最终结果可能表现为正面影响或负面影响, 即正效益

或负效益。因此, 本文提出计算“流量”的估算方法, 直接计算水电开发前后河流生态服务功能价值的变化量来对水电开发对河流生态系统服务功能的影响进行评估。其思路是: 在对河流生态系统服务功能进行分类的基础上, 根据河流生态系统服务功能可能受到水电开发影响的现实情况和影响特征, 分析生态服务功能的变化情况, 然后选择适当的生态系统服务功能价值核算的方法和参数, 计算受影响的生态系统服务功能的价值变化量。在单项服务功能价值估算完成之后, 对各单项指标进行加和汇总, 最终得到河流生态系统服务功能价值受水电开发项目影响的总变化量。

1.2 河流生态系统服务功能的分类

合理的分类是进行生态系统服务功能价值评估的基础。根据河流提供生态服务的机制、类型和效用, 参考前人对生态系统服务功能的分类^[2,3], 本文将河流生态系统的服务功能分为提供产品、支持功能、调节功能和文化娱乐四类:

(1) 提供产品: 指河流生态系统直接提供维持人的生活生产活动, 及为人类带来直接利益的产品或服务, 包括食品、渔业产品、加工原料等, 以及人类生活及生产用水、水力发电、灌溉、航运等。

(2) 支持功能: 指河流生态系统具有维护生物多样性、维持自然生态过程与生态环境条件的功能, 如保持生物多样性、土壤保持、初级生产力和提供生境等。

(3) 调节功能: 指人类从河流生态系统过程的调节作用中获取的服务功能和利益, 如水文调节、

^{*} 收稿日期: 2005-08-18

作者简介: 莫创荣 (1969 年生), 男, 博士生; 通讯联系人: 王树功; Email: esswsg@163.com

河流输送、侵蚀控制、水质净化、气候调节等。

(4) 文化娱乐：指河流生态系统对人类精神生活的作用，带给人类文化、美学、休闲、教育等功效和利益，包括美学价值、文化遗产价值、休闲旅游、教育科研、文化多样性等。

1.3 评估的方法

1.3.1 提供产品功能类

(1) 提供粮食生产：水电开发工程的兴建扩大了水域，导致河岸部分生产用地（主要为耕地）被淹没而丧失提供粮食的功能，水电开发工程淹没耕地导致生态系统提供粮食减少的价值，可以用单位耕地的平均产值和淹没的耕地面积的乘积表示。

$$V_1 = P_s \times S$$

式中， V_1 为淹没耕地粮食生产损失的价值； P_s 为单位耕地的粮食平均产值； S 为淹没的耕地面积。

(2) 渔业生产：拦河坝的兴建，阻隔了鱼类的洄游路线，引起鱼类数量的减少，水电开发对提供鱼类产品的影响可以用电站建成后鱼类年产量减少的价值损失来表示。

$$V_2 = P_f \times Q_f$$

式中， V_2 为渔业生产损失的价值； P_f 为鱼价； Q_f 为鱼类年产量的损失量。

(3) 发电：水电工程实现河流的发电功能，发电效益可用电价与年发电量的乘积来表示。

$$V_3 = P_e \times Q_e$$

式中， V_3 为年发电的价值； P_e 为影子电价； Q_e 为电站的年均发电量。

(4) 供水：河流上筑坝后，提高了河流水位，改变了河流原始的取水状态，减少抽水扬程，提高供水保证率，增加供水量，因此，河流生态系统为人类供给工业生产用水和生活用水的能力得以提高。供水的效益可用供水减少抽水扬程的增值来表示。

$$V_4 = P_w \times Q_w$$

式中， V_4 为年供水的价值； P_w 为水位提高后每 m^3 取水减少抽水扬程的费用； Q_w 为每年取水量。

(5) 灌溉：自然河流生态系统灌溉农田的功能十分有限，水库工程的修建增大了河水的灌溉能力，使灌溉面积扩大，灌溉保证率得到提高，可以保证农业用水。灌溉的效益可用保证灌溉的耕地产值的增值来表示。

$$V_5 = \alpha \times P_s \times S_r$$

式中， V_5 为灌溉的效益； P_s 为单位耕地的粮食平均产值； S_r 为保证灌溉的耕地面积， α 灌溉的效益分摊系数。

(6) 航运：水位的提高增强了河流的航运能力，其增值可以用改善航道长度与节省的单位运输费用的乘积来表示。

$$V_6 = \beta \times P_c \times L \times Q_c$$

式中， V_6 为航运的效益； P_c 为节省的单位运输费用； L 为改善的航道长度； Q_c 为年货运的量； β 为水环境状况改善后新增的航运效益的分摊系数。

1.3.2 支持功能类

(1) 有机质生产：生态系统的生物生产力是生态系统支持功能的表现特征。水电开发破坏河流生态系统的格局，结构的变化导致植被生产能力的改变。在初级生产力中，植物的根、茎，不直接为人类提供粮食，但可以作为生物质能提供能量来源。对这部分初级生产力生产有机质价值计算，采用秸秆生物发电所产生的经济效益进行。

$$V_7 = R_e \times M \times P_e$$

式中， V_7 为初级生产力生产有机质的价值损失； R_e 为单位有机质的年发电量； M 为有机质的年损失量； P_e 为影子电价。

(2) 水土流失：水电开发工程的基础开挖、土石方堆放、围堰填筑及拆除、土坝防护堤建设等均会损坏地表土壤和植被，破坏原地面的汇、排水条件，诱发水土流失。这里采用恢复费用法对水土流失造成土壤保持服务功能价值的损失进行估算。

$$V_8 = V_s \times S_s$$

式中， V_8 为水土流失的价值损失； V_s 为治理单位水土流失面积的费用； S_s 为新增的水土流失面积。

1.3.3 调节功能类

(1) 调蓄洪水：水电工程建设改变河流的自然水文过程，水库巨大的库容可以蓄洪调枯，控制洪水。水库调蓄洪水的效益可以利用其保护农业不受损失的价值来进行估算。

$$V_9 = X \times P_s \times C_a \times V_r$$

式中， V_9 为水库调蓄洪水的价值； P_s 为单位耕地的粮食平均产值； C_a 为单位库容保护的耕地面积； V_r 为水库的库容， X 调蓄洪水的效益分摊系数。

(2) 水库淤积：自然河流有输送泥沙的功能，修建水库之后，泥沙在水库中淤积，减少水库的库容。可以恢复费用法计量泥沙淤积造成的价值损失，即用工程清除泥沙淤积。

$$V_{10} = P_1 \times p \times Q_1$$

式中， V_{10} 为泥沙淤积的价值损失； P_1 为每吨泥沙的清除费用； p 为悬移质泥沙干容重； Q_1 为泥沙的淤积量。

(3) 水质净化：拦河大坝的阻碍使库区内的水

位抬高，水流变缓，水体对污染物的稀释、扩散、迁移和净化能力将下降，影响了河流的自净功能。水质净化能力下降，污水处理量减少，假定由污水处理工程处理这部分污水，水质净化功能的价值损失用污水处理成本来表示。

$$V_{11} = V_c \times Q_w$$

式中， V_{11} 为水质净化的价值损失； V_c 为污水厂处理单位污水的成本； Q_w 为净化能力下降而减少的处理污水的量。

1.3.4 文化娱乐功能

水电开发改变了周围的自然景观。一方面，蓄水后，一些水库可能会开发成为旅游区，提高河流的文化娱乐价值；另一方面，开发建设也可能淹没周围的景观、风光和古迹，可能会破坏生态环境提供给人类的舒适性服务。对河流文化娱乐功能的影响可以用旅行费用法等环境经济学的价值评估方法。

$$V_{12} = V_t \times Q_l$$

式中， V_{12} 为文化娱乐功能增加的旅游收益； V_t 为旅客的每人每次旅行平均支出； Q_l 为旅游人数的年增加量。

2 案例研究

2.1 研究案例概况

兴建的某水利枢纽工程位于广东省河源市至惠州市之间的东江干流河段，是东江干流梯级开发规划的 15 个梯级中的第 12 个梯级电站。工程坝址以上流域面积 17 124 km²，多年平均流量 552 m³/s，正常蓄水位 26.5 m，正常蓄水位以下水库容积为 2 740 万 m³，装机容量 32 MW，多年平均发电量 12 050 万 kW·h。工程永久占地 47.57 亩，规划淹没耕地 5 896 亩，淹没影响人口 6 012 人。项目总投资为 47 439.11 万元，单位电度投资为 3.22 元/(kW·h)，投资为 1.48 万元/kW^①。

2.2 计算参数简要说明

水利枢纽工程所在的东江流域地区目前耕地平均亩产产值为 1 500 元/亩，以此作为 P_s 的取值。鱼价格 P_f 取 10 元/kg。影子电价 P_e 按 0.4 元/(kW·h) 计。水位提高后每 m³ 取水减少抽水扬程的费用 P_w 取 0.02 元/m³。水的灌溉效益分摊系数 α 取 0.1。节省的单位运输费用 P_c 按 0.6 元/(t·km) 计，水环境状况改善后新增的航运效益的分摊系数 β 取 0.2。据相关资料，生物质能热电厂的秸秆年发电量 R_e 为 0.06 kW·h/(t·a)。东江流域单位水土流失面积的平均费用 V_s 约为 25 000 元/

hm²。根据文献 [2] 引用《2000 年水利统计公报》公布数据，2000 年全国已建成水库 85 120 座，已建水库总库容达到 5 183×10⁸ m³，保护耕地 5.9×10⁸ 亩，则单位库容保护耕地 C_a 为 0.001 138 亩/m³；调蓄洪水的效益分摊系 X 数取 0.1。在南方人工清理河道的成本费用为 4.7 元/t^[2]， P_l 取值 4.7 元/t；根据东江情况， p 取 1.25 t/m³。对于单位污水处理成本 V_c ，广东地区运行成本为 0.4~0.6 元/t，取中间值 0.5 元/t。此水利枢纽工程建成后将成为一个休闲旅游景点，旅客参观景点的门票、交通、食宿等的旅行平均支出 V_t 约为 220 元/人次。

2.3 结果分析

按照上述价值评估方法和计算参数，根据水利枢纽工程环境影响评价工作的调查资料^①，计算出了该工程开发方案对东江生态系统服务功能价值的变化，如淹没耕地、渔业损失、发电、效益、供水效益、灌溉效益、航运效益、有机质生产、水土流失、水库淤积、调蓄洪水、水质净化、旅游收益分别为-884、-394、4 820、110、279、255、-735、-594、-434、159、-703、318 万元/a，正效益合计为 5 941 万元/a，负效益合计为-3 744 万元/a，总效益合计为 2 197 万元/a。

结果表明，开发方案引起的河流生态服务功能价值变化（效应净值）总体是正的。开发方案在取得正效益的同时，也带来很大的负效应，负效益占正效益的比例达到 63%。正效益主要来自发电效益、旅游收益和灌溉效益，分别占总正效益的 81%、5%和 4%；生态系统服务功能价值的损失主要是淹没耕地、有机质生产和水质净化，分别占总负效益的 24%、20%和 19%。

可见，从生态价值核算角度出发，此水利枢纽工程开发会对东江河流生态系统服务功能价值产生较大的影响，但影响有正有负，将其负效益与正效益相比，其正效益相对更为显著，说明该水电工程开发对东江流域的经济和社会发展起到了积极作用。但负效益占到其正效益的一半以上，说明该工程开发对东江河流生态系统的消极负面影响也是不容忽视的。因此，在建设此水利枢纽乃至东江其他梯级电站用以服务当地经济社会的同时，应采取适当的生态补偿措施，努力降低负效益占正效益的比例，保护和恢复东江河流生态环境，最终实现东江流域的可持续发展。

① 中山大学环境科学研究所. 广东省紫金县沥口水利枢纽工程环境影响报告书 [R]. 2005.

3 结 语

水电开发给人们带来巨大的经济利益的同时，也给河流生态系统造成了许多不良的影响，导致河流生态服务功能受损，生态环境恶化。由于不合理的水电开发造成河流生态系统服务功能价值损失的数额是非常巨大的，但因为目前没有进行定量而精确的计量评估，无法引起决策者足够的重视。通过全面评估在水电开发下河流生态系统为人类提供的生态服务功能的价值，可以反映水电开发活动真实的效益和成本，从而为水电开发环境影响评价提供一种新的思路。

由于水电开发对河流生态系统服务功能造成的影响是十分复杂的，本文只是提出了水电开发可能对河流生态系统造成影响的几种主要服务功能的价值评估，仍需进一步深入认识河流生态系统的服务功能，并获取更充分的基础资料，更加全面地进行水电开发的河流生态系统服务功能价值评估。而河

流生态系统服务功能价值评估的方法多种多样，不同的服务功能可以有不同的价值评估方法，同一项服务功能也可能有不同的价值评估方法。每种方法都有其优点和局限性，具体采用哪一种方法，需要在实践中进一步探讨、完善和相互验证。

参考文献:

[1] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J] .应用生态学报, 1999, 10(5): 635—640.

[2] 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 等. 水生态服务功能分析及其间接价值评价[J] .生态学报, 2004, 24(10): 2091—2099.

[3] 鲁春霞, 谢高地, 成升魁, 等. 水利工程对河流生态系统服务功能的影响评价方法初探[J] .应用生态学报, 2003, 14(5): 803—807.

[4] COSTANZA R. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital[J] . Nature, 1997, 387: 253—260.

Evaluation of Hydropower Development on River Ecosystem Services

MO Chuang-rong^{1,2}, LI Xia¹, CHEN Xin-geng¹, WANG Shu-gong¹

(1.School of Environmental Science &Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;
2.School of Chemistry &Chemical Engineering, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract: The influences of hydropower development on river's ecosystem services are complex and omnifarious. This paper puts forward a method of calculating “flow” to evaluate the value of river's ecosystem services, and taking the development of Guangdong Zijin Likou Water Power Station as a case, quantitatively analyzes and evaluates the changes of river's ecosystem service value after the project's operation.

Key words: hydropower development; ecosystem services; evaluation; river